

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ

УДК 621.924

В.А. ЗАЛОГА, д-р техн. наук,
В.В. НАГОРНИЙ,
А.М. ТУР, Суми, Україна

ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС ДІАГНОСТИКИ МЕТАЛООБРОБНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ

Контроль і діагностування стану металообробної технологічної системи є одним з найбільш важливих завдань автоматизованого виробництва. У статті розглядається один з таких програмно-апаратних комплексів, призначений для контролю стану металообробної технологічної системи. Комплекс дозволяє: контролювати якість виготовлення деталі; прогнозувати момент підналадження або заміни інструменту; визначати напрацювання верстата до зупинки його на ремонт, а також і причину ремонту.

Контроль и диагностирование состояния металлообрабатывающей технологической системы является одной из наиболее важных задач автоматизированного производства. В статье рассматривается один из таких программно-аппаратных комплексов, предназначенный для подобного контроля состояния металлообрабатывающей технологической системы. Комплекс контролирует качество изготовления детали, прогнозирует момент подналадки или замены инструмента, а также определяет наработку станка до остановки его на ремонт и причину ремонта.

Monitoring and diagnosing the state of the metal processing system is one of the most important tasks of automated production. The main function of the control system, diagnose the current state of technological processing system is to predict the moment of replacement tool parts avoiding the defect parts and unplanned downtime technological system associated with the replacement of the cutting tool, or failure of the corresponding structural parts of the machine. To perform this task, you need the following information: condition of the workpiece; the amount of tool wear; condition of the machine with the position of his performance. Operation of control systems is subject to a specific algorithm, which is put into them with the appropriate software. The bearer of this software is the hardware part of these systems, which is a fixed, portable, and often embedded microprocessor devices. The

combination of programs and their carriers - hardware - is called hardware and software systems. It is the examination of that hardware-software complex and the subject of this article.

Вступ. Контроль і діагностування стану металообробної технологічної системи є одним з найбільш важливих завдань автоматизованого виробництва. Основною функцією системи контролю, що діагностує поточний стан технологічної обробної системи, є прогнозування моменту її підналадження або заміни інструменту, що дозволяє уникати браку деталі та незапланованих простоїв технологічної системи, пов'язаних з заміною різального інструменту, або виходу з строю відповідної конструктивної частини верстату.

Для виконання цього завдання необхідна наступна інформація про:

- стан оброблюваної деталі ;
- величину зношування інструменту;
- стан верстата з позиції його працездатності.

Функціонування контролюючих систем підпорядковується певному алгоритму, який закладається в них за допомогою відповідного програмного забезпечення. Носієм цього програмного забезпечення є апаратна частина цих систем, яка представляє собою стаціонарні, переносні, а, найчастіше, вбудовані мікропроцесорні пристрої. Комбінація програм і їх носіїв – апаратних засобів – носить назву програмно-апаратні комплекси.

Саме розгляду такого апаратно-програмного комплексу (рис. 1) і присвячена дана стаття.

Програмна складова комплексу. Програмна складова комплексу (рис.2) реалізує певний алгоритм контролю технічного стану металообробної технологічної системи, який забезпечує:

- управління процесом збору необхідної для аналізу вхідної інформації;
- оперативну обробку в режимі поточного часу масиву зареєстрованої інформації;
- оцінювання якості обробки деталі;
- прогноз стійкості інструменту;

- прогноз часу напрацювання верстата до підналагодження або ремонту із зазначенням причини цього
- ремонту;
- видачу результатів діагностування на екран дисплея та їх збереження у вигляді текстового файлу.

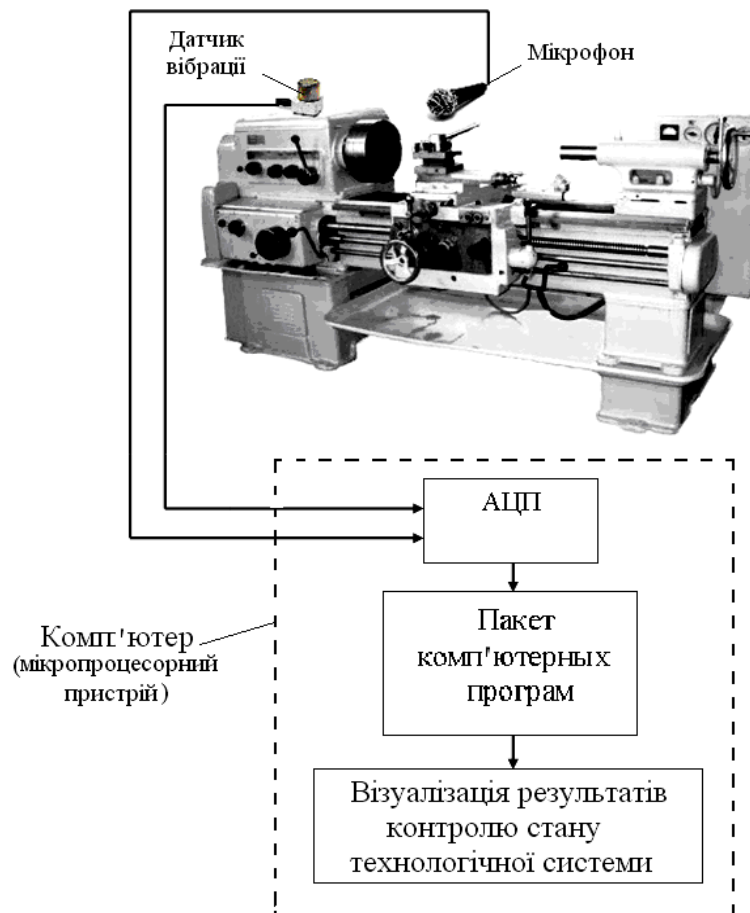


Рисунок 1 – Схема програмно - апаратного комплексу



Рисунок 2 – Модулі, які складають програмну частину комплексу

Для забезпечення універсальності програмного комплексу по відношенню до апаратних засобів він побудований за модульним принципом (рис.2) і реалізований на декількох алгоритмічних мовах: Турбо Паскаль, Делфі, Сі і JAVA. Останній варіант комплексу розрахований на мікропроцесорні пристрої, що працюють на платформі Android.

Модуль вимірювання звукового і вібраційного сигналів. У даному модулі (рис. 3) вхідна інформація реєструється по декількох каналах: по одному з них фіксується звуковий сигнал, що супроводжує процес різання, а по іншим – вібросигнали, які надходять з датчиків, встановлених в потрібних контрольних точках верстата. Для скорочення об'єму інформації, що реєструється, та підвищення оперативності контролю можна обмежитися (якщо цього достатньо) і однією контрольною точкою, розміщеною, наприклад, на передній бабці верстата, в якій розташовані зубчасті передачі.

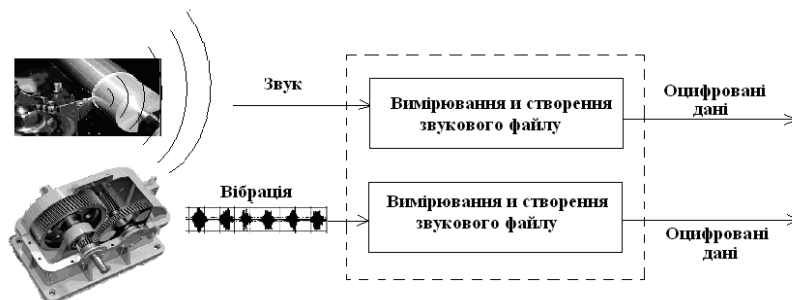


Рисунок 3 – Модуль вимірювання звукового і вібраційного сигналів

Модуль спектрального аналізу. У даному модулі здійснюється спектральний аналіз вхідних сигналів за допомогою швидкого перетворення Фур'є. При цьому визначається амплітудний спектр віброшвидкості для вібросигналу і амплітуди звукового тиску для звукового сигналу.

Модуль прогнозу стійкості інструменту і ресурсу верстата. У даному модулі по однаковому алгоритму у процесі мінімізації значення функціоналу (1), знаходиться або стійкість інструменту або ресурс верстата.

$$U = \sum_{i=1}^m [P^P(\tau_i) - P^\Phi(\tau_i)]^2, \quad (1)$$

де $P^\Phi(\tau)$ – фактичний параметр сигналу (тиск звуку $E_{\text{ЗБ}}^\Phi(\tau)$ або рівень $A^\Phi(\tau)$ вібрації), які вимірюються при функціонуванні технологічної системи;

$P^P(\tau)$ – розрахунковий параметр сигналу;

m – кількість порівнюваних виміряних і розрахованих значень параметра сигналу.

Розрахункове значення параметра $P^P(\tau)$ визначається за допомогою апроксимаційної моделі (2) [1]:

$$P^P(\tau) = P^\Phi(\tau_0) \left[1 \pm \alpha \left(\frac{\tau - \tau_0}{T - \tau} \right)^\beta \right], \quad (2)$$

де T – стійкість інструменту, або ресурс станка;

$P^\Phi(\tau_0)$ – рівень звукового тиску, або рівень вібрації, зареєстровані на початку процесу обробки деталі (на початку функціонування верстату);

τ_0, τ – тривалість механічної обробки деталі (тривалість функціонування верстату), відповідно, на момент першого (вихідного) і поточного контролів їх станів;

α, β – параметри апроксимаційної моделі.

Модуль оцінки якості. У даному модулі за допомогою кумулятивних безрозмірних комплексних параметрів – індикаторів – кількісно описується якісні показники функціонування технологічної системи (табл. 1).

Точність форми деталі оцінюється за допомогою індикатора якості форми $a_{\phi\partial}(\tau)$ [2] (табл.1). Параметри даної залежності (α, β, T) знаходяться при мінімізації функціоналу (1). Індикатор $a_{\phi\partial}(\tau)$ змінюється від нуля (при $\tau_i = \tau_0$), коли інструмент «гострий», до одиниці (при $\tau_i = T$), коли інструмент потребує заміни.

На рис.4 наведено графік зміни індикатора якості $a_{\phi\partial}(\tau)$, реалізованого при поздовжньому точінні. Аналіз показує, що індикатор якості форми деталі протягом основного часу роботи інструменту змінюються незначно, маючи величину, близьку до 0.5. Різке збільшення

значення індикатору якості форми свідчить про необхідність припинення процесу обробки для запобігання браку деталі у зв'язку з досягненням ступеня зношування інструменту до його недопустимої величини.

Таблиця 1 – Індикатори, які використовуються для оцінки якості функціонування технологічної системи

Елемент технологічної системи	Індикатор	Формула
Деталь	Точність форми деталі [2]	$a_{\phi\phi}(\tau) = \frac{(\tau - \tau_0)^\beta}{(\tau - \tau_0)^\beta + (T - \tau)^\beta}$
	Шорсткість оброблюваної поверхні	$a_{ш} = 125 \frac{S^2}{r_6} a_{BK}$
Різальний інструмент	Поступове зношування леза інструменту	$F_{IH} = \alpha \bar{A} + \beta \bar{V}$
	Викришування леза	$a_{BK} = \frac{\tau - \tau_0}{T_\phi - \tau_0} [2]$
	Комплексний вплив на технічний стан інструменту процесів зношування і викришування його леза	$a_{КОМП} = a_{BK} + F_{IH} - a_{BK} \cdot F_{IH}$
Верстат	Ступінь розвитку дефектів верстата	$F_{ид} = \alpha \bar{A} + \beta \bar{V}$

Якість технічного стану різального інструменту прийнято характеризувати такими параметрами: «добре», «прийнятне», «допустиме», «вимагає підналагодження» і «вимагає заміни» (табл. 2). Кількісно ці стани описуються за допомогою дискримінантної (класифікуючої) функції F_{IH} [3] (табл.1). Ця формула має такі складові: $\bar{A} = \frac{E_{зв}(\tau) - E_{зв}(\tau_0)}{E_{зв}(T) - E_{зв}(\tau_0)}$ – ступінь зміни рівня звукового тиску; $\bar{V} = \frac{T_n - \tau_0}{T_\phi - \tau_0}$ – швидкість зміни рівня звукового тиску; $E_{зв}(T)$ – рівень звукового тиску на час заміни інструменту; T_ϕ – дійсна стійкість

інструменту (напрацювання інструменту до його заміни); T_n – прийнята (нормативна) стійкість інструменту; α, β – вагові коефіцієнти ($\alpha + \beta = 1$).

Величини вагових коефіцієнтів уточнюється в ході експлуатації технологічної системи і при відсутності накопиченого досвіду експлуатації рекомендовано приймати рівними 0,5.

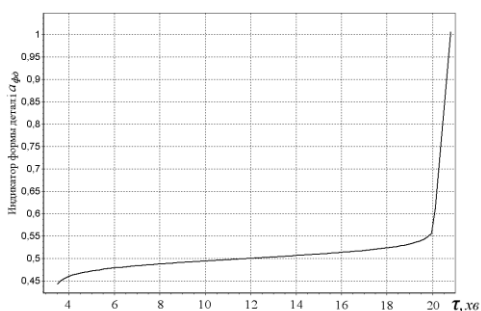


Рисунок 4 – Зміна індикатора якості форми деталі a_{fd} в залежності від тривалості поздовжнього точіння

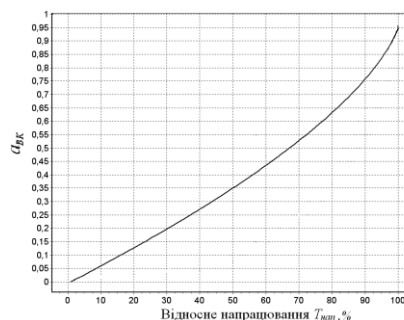


Рисунок 5 – Зміна індикатора викришування (відколу) a_{BK} в залежності від тривалості фрезерування

Співвідношення між якісною і кількісною характеристиками стану інструменту наведено у табл. 2.

Таблиця 2 – Співвідношення між якісною і кількісною характеристиками технічного стану інструменту

«добре»	«прийнятне»	«допустиме»	«вимагає підналагодження»	«вимагає заміни»
0.0 – 0.41	0.41–0.63	0.63–0.90	0.90–1.0	> 1.0

Класифікуюча функція F_{IH} характеризує поступову зміну стану інструменту в наслідок його зношування. Однак, на стан інструменту істотно впливає і викришування різальної кромки леза. Це явище кількісно описується за допомогою індикатора викришування a_{BK} (див. табл.1).

Результати розрахунку індикатора a_{BK} наведено на рис. 5. У якості вихідних для розрахунку даних використовувалася інформація, отримана при фрезеруванні циліндричною фрезою, в ході якого було реалізовано відкол зуба фрези. З графіка витікає, що індикатор a_{BK} по мірі зростання

тривалості різання, змінюється від нуля до одиниці в момент відколу зуба фрези.

Якщо індикатор a_{BK} помножити на величину параметра R_z , що характеризує шорсткість оброблюваної поверхні, то можна отримати індикатор, який буде характеризувати якість обробленої поверхні. Параметр R_z розраховується за наступною відомою емпіричною залежністю, яка запропонована професором Чебишевим В.Н.[4]:

$$a_{III} = 125 \frac{S^2}{r_e} a_{BK}, \text{МКМ}$$

де S – подача, мм/об;

r_e – радіус вершини різця, мм.

Класифікуюча функція F_{III} і індикатор викришування a_{BK} змінюються від нуля до одиниці, тому їх можна розглядати як імовірнісні події. Оцінимо ймовірність їхнього спільного настання при різанні. Вважаючи ці події незалежними, отримаємо наступний вираз для індикатора $a_{комп}$, що характеризує комплексний вплив на технічний стан інструменту його поступового зношування і викришування (див. табл. 1).

Оцінка технічного стану верстатного обладнання здійснюється по аналогії з методикою діагностування різального інструменту за допомогою класифікуючої функції (табл. 1) та шляхом використання співвідношень між якісними і кількісними характеристиками стану інструменту, наведеними у табл. 2.

Застосування класифікуючої функції дозволяє об'єднати простоту вже достатньо широко прийнятого в промисловості, наприклад, для обертових машин типу компресор, методу діагностування на основі норм віброактивності з точністю діагнозу, що одержується шляхом обчислення швидкості зміни технічного стану верстатного обладнання.

Алгоритм, реалізований програмним забезпеченням даного модуля, передбачає виділення в спектрі вібросигналу тих частотних складових, що реагують на появу і розвиток дефектів верстата. Часові ряди, складені з амплітуд цих частотних складових – інформаційних гармонік – апроксимуються за допомогою моделі (2).

У ході цієї апроксимації визначаються ресурси вузлів верстата, на дефекти яких реагують контрольовані інформаційні гармоніки. Далі розраховуються величини класифікуючих функцій, що характеризують ступінь критичності технічного стану кожного з підконтрольних вузлів верстата.

Модуль візуалізації результатів контролю стану технологічної системи. У даному модулі на екран дисплея виводяться лінійчаті індикатори (рис. 6), які змінюються зліва направо. Індикатори характеризують якість обробки деталі (формули (3) і (6)), стан інструменту (формули (4), (5) і (7)) і стан вузлів верстату (формула (4)).



Рисунок 6 – Інформація про стан металообробної системи, яка виводиться на дисплей монітору

Апаратна частина комплексу. Дана частина комплексу складається з датчика вібрації, мікрофону та комп'ютера. На рис. 7 показано макет апаратної частини комплексу, а на рис. 8 наведено приклад використання програмно – апаратного комплексу при контролі стану технологічної системи в процесі фрезерування циліндричною фрезою.

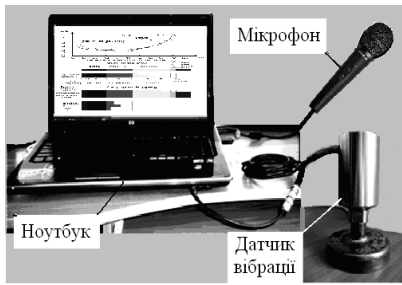


Рисунок 7 – Макет апаратної частини програмно-апаратного комплексу

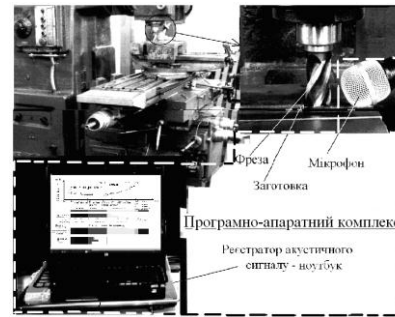


Рисунок 8 – Контроль звуку, супроводжуючого процес фрезерування, за допомогою апаратної частини програмно-апаратного комплексу

Датчик вібрації та мікрофон (рис. 7 і 8) перетворюють коливання та звуковий тиск в електричні сигнали. Ці сигнали подаються на комп'ютер, де вони піддаються спектральному і логічному аналізу за допомогою розглянутого раніше програмного оснащення даного апаратно – програмного комплексу, яке забезпечує:

- реєстрацію зміни звуку та вібрації в часі;
- розрахунок і будування спектрів звуку та вібрацій верстату;
- розрахунок терміну експлуатації різального інструменту та наробітку верстату до його зупинки на ремонт чи підналагодження;
- контроль якості обробки деталі, технічного стану інструменту та верстату зі збереженням усіх даних у текстовому файлі;
- відображення результатів контролю у наглядній формі на екрані дисплею;
- подачу звукового сигналу у разі досягнення технологічною системою критичного стану, пов'язаного або з якістю обробки деталі, або з технічними станами різального інструменту та верстату;
- документування результатів діагностування у вигляді «Протоколу ...», що зберігається в текстовому файлі.

Висновки. Розроблено програмно–апаратний комплекс та методику його використання, які дозволяють діагностувати та контролювати стан елементів металообробної технологічної системи у режимі реального часу, що є одним із найбільш важливих завдань автоматизованого виробництва.

Основною функцією цього комплексу є прогнозування моменту підналагодження тих елементів технологічної системи, стан яких наближається до критичного. Це дозволяє уникати браку деталі та незапланованих простоїв обробної технологічної системи, пов'язаних з її налагодженням або заміною різального інструменту.

Список використаних джерел: 1. Залога В.А. Оценка степени износа инструмента методом вибродиагностики / В.В. Нагорный, В.А. Залога // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2011. – № 4. – С. 88-96. 2. Залога В.А. Расчёт индикаторов разрушения режущего инструмента / В.В. Нагорный, В.А. Залога // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2012. – № 2. – С. 101-111. 3. Нагорний В.В. Розробка системи технічного діагностування машин / В.В. Нагорний, // Міжнародна науково-практична конференція «Комп'ютерні науки для інформаційного суспільства». – Луганськ : Вид-во «Ноулідж», 2010.-С.178-180. 4. Гребень В. Г. Резание материалов: конспект лекций / В.Г. Гребень, П.Е. Попов – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2011. – 76 с.

Bibliography (transliterated): 1. Zaloga V.A. Ocenka stepeni iznosa instrumenta metodom vibrodiagnostiki / V.V. Nagornyj, V.A. Zaloga // Visnik Sums'kogo derzhavnogo universitetu. Serija Tehnichni nauki. – 2011. – № 4. – S. 88-96. 2. Zaloga V.A. Raschjot indikatorov razrushenija rezhushhego instrumenta / V.V. Nagornyj, V.A. Zaloga // Visnik Sums'kogo derzhavnogo universitetu. Serija Tehnichni nauki. – 2012. –№ 2. – S. 101-111. 3. Nagornij V.V. Rozrobka sistemi tehničnogo diagnostuvannja mashin / V.V. Nagornij // Mizhnarodna naukovo-praktichna konferencija «Komp'juterni nauki dlja informacijnogo suspil'stva». – Lugans'k: Vid-vo «Noulidzh», 2010.-S.178-180. 4. Greben' V.G. Rezanie materialov: konspekt lekcij / V.G. Greben', P.E. Popov – Omsk: Izd-vo OmGTU, 2011. – 76 s.